

Antennen auf Eisenbahnfahrzeugen.

A. Kraus, Berlin.

Antennen, die in Eisenbahnfahrzeugen während der Fahrt betrieben werden sollen, müssen, besonders wenn sie aussen am Fahrzeug z.B. als Dachantennen angeordnet sind, gewisse Anforderungen erfüllen, und zwar

- 1) hinsichtlich der räumlichen Anordnung, wegen der Profilbeschränkung des Fahrzeuges
- 2) in sicherheitstechnischer Hinsicht wegen der Fahrdrabtbeeinflussung, und schliesslich
- 3) in funktechnischer Hinsicht.

Eisenbahnwagen moderner Bauart, die hier hauptsächlich betrachtet werden sollen, bestehen aus einem Ganzstahlgehäuse. Um daher eine einigermaßen gute Antennenwirkung zu erzielen, müssen Sende- und Empfangsantennen möglichst ausserhalb des Wagenkastens angebracht werden; dabei müssen die räumlichen Einschränkungen, die durch das Lichtraumprofil vorgeschrieben sind, berücksichtigt werden.

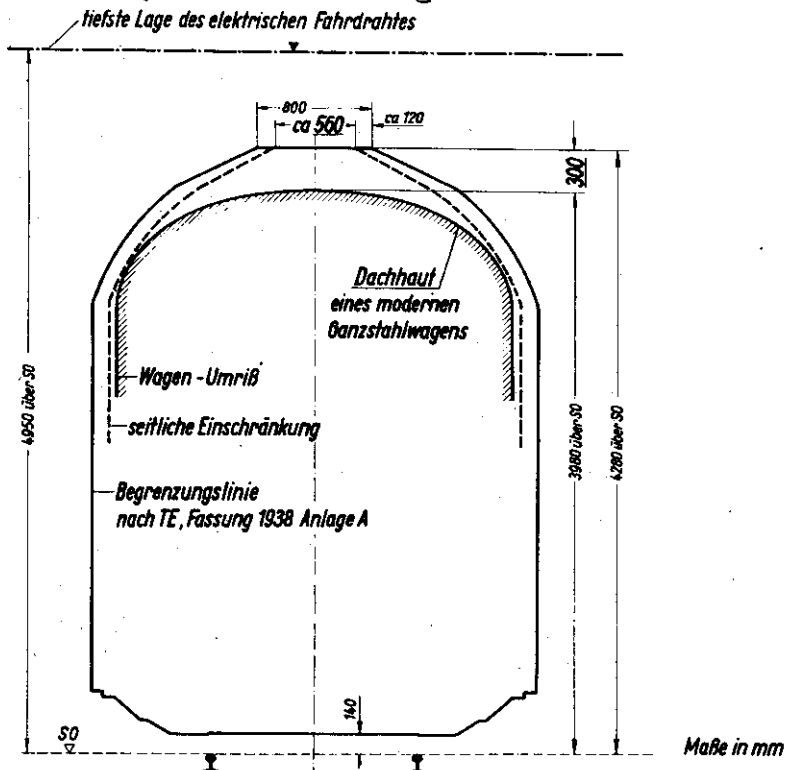


Abb. 1 Verfügbarer Raum für Dachantennen bei Transitwagen.

Abb.1 zeigt die verfügbare Querschnittsfläche für einen Transitwagen nach den "Technischen Einheiten". Das sind zwischenstaatliche Vereinbarungen, die für alle Transitwagen eingehalten werden müssen. Die äussere stark ausgezogene Linie stellt die Wagenbegrenzungslinie dar, innerhalb der alle Bauteile eines Wagens, also auch eine Wagenantenne, liegen müssen. Die gestrichelte Linie gibt die seitliche Einschränkung der Wagenbegrenzungslinie an, die von der Wagenlänge und dem Abstand der Drehgestelle abhängig ist. Im Bild ist eine mittlere Einschränkung von 120 mm angenommen. Ferner ist in das Bild noch der obere Teil eines Wagenumrisses, und zwar für einen modernen Ganzstahlwagen, eingezeichnet. Für eine Dachantenne steht in diesem Fall also nur eine grösste Bauhöhe von 300 mm bei einer Baubreite von 560 mm zur Verfügung. Eine grössere Baubreite - um z.B. mehrere Antennen nebeneinander anordnen zu können - geht auf Kosten der Bauhöhe.

Die Antennenlänge ist im allgemeinen durch die Wagenkastenlänge mit etwa 20 m gegeben. Selbstverständlich kann eine Antenne, z.B. für Langwellenbetrieb, auch über mehrere Wagen hinweg gezogen werden. Zwischen den einzelnen Wagen müssen dann aber leicht lösbare Kupplungsstücke vorgesehen werden, die ständig dem Längsspiel der Puffer und Zughaken und dem Quer- und Höhenspiel der Wagenkasten folgen müssen.

Auch Rahmen- und Unterwagenantennen müssen innerhalb der Wagenbegrenzungslinie liegen. Der Anbringung von Antennen unterhalb des Wagenkastens stehen die Bremsgestänge, Luft- und Dampfleitungen, Batterie- und Luftbehälter, und besonders auch die Drehgestelle hinderlich im Wege.

Rahmenantennen sind im Wageninnern nur in Nähe der Fensterdurchbrüche wirksam. Die Rahmenebene muss dabei unter einem bestimmten, günstigsten Winkel zur Fensterfläche stehen, der wegen der Richtwirkung des Rahmens und wegen der Feldverzerrungen im Fensterdurchbruch veränderlich ist. Auch Grossrahmen an der Wagenstirnseite und um den Wagenbalg sind erprobt worden.

Auf Dampflokomotiven sind die Platzverhältnisse für die Anbringung von Antennen etwas günstiger, auf elektrischen Triebfahrzeugen dafür um so schlechter; hier ist meistens nur für Stabantennen Platz.

Für Sendezwecke kommt (auf Eisenbahnfahrzeugen) für Kurz-, Mittel- und Langwellenbetrieb nur die waagrecht ausgespannte Dachantenne in Frage. Auch für Empfangszwecke ist sie nicht zu entbehren. Sie liefert Empfangsspannungen, die wenigstens um den Faktor 10 höher liegen als bei allen sonstigen Antennen.

Die Dachantenne steht aber auf Strecken mit elektrischer Oberleitung unter dem Einfluss der Spannung und Ströme des Fahrdrahtes. Die Fahrdraht-Nennspannung beträgt allgemein im Reichsgebiet 15 kV bei $16 \frac{2}{3}$ Hz, in einem Fall 20 kV bei 50 Hz. Der Fahrstrom erreicht im Regelfall einige Hundert A, er kann im Kurzschlussfall auf einige Tausend A ansteigen.

Die statisch und induktiv verursachten Beeinflussungsspannungen können übergangen werden; sie lassen sich ohne weiteres beherrschen, um so mehr, als dahinter keine Leistung steckt. Sie erfordern keine besonderen Massnahmen an den Antennen.

Anders dagegen die galvanische Beeinflussung, die dann gegeben ist, wenn Antenne oder Fahrdraht reißen und gegenseitig Berührung machen. In diesem Fall nimmt die Antenne bis zum Ansprechen der im Stromkreis liegenden Sicherungen zunächst die volle Fahrdrahtspannung an. Der sodann auftretende Kurzschlußstrom kann bei $16 \frac{2}{3}$ Hz bis zu 10 000 A erreichen und bis zu 300 msec andauern. Es ist also eine Gefährdung von Leben und Sachwerten zu befürchten, und dagegen müssen Schutzmaßnahmen getroffen werden.

Zwischen Dachantenne und Funkgerät wird daher eine Ueberspannungsschutzeinrichtung, Abb.2, eingeschaltet. Sie besteht im wesentlichen aus einer Funkenstrecke \bar{U} mit etwa 3 kV Ansprechspannung als Grobspannungsableiter, dem Erdungsschalter S, der die Antenne unmittelbar erdet, ferner einem Kondensator C von max. 2200 pF, der in der Zuleitung zum

Funkgerät liegt, und einer HF-Drossel D_r , über die die Antenne dauernd statisch geerdet ist. Die HF-Drossel kann auch durch einen Hochohmwiderstand ersetzt sein. In dieser Form kommt die Schutzschaltung für Empfangsantennen zur Anwendung. Für den Sendebetrieb erfährt sie gewisse, teils durch die hochfrequente Strom- und Spannungsverteilung bedingte Abwandlungen (u.a. wird z.B. die HF-Drossel weglassen). Die stark ausgezogenen Stromkreise werden bei Fahrdrabtberührung vom Kurzschlußstrom durchflossen, müssen also die vorkommende Strombelastung aushalten.

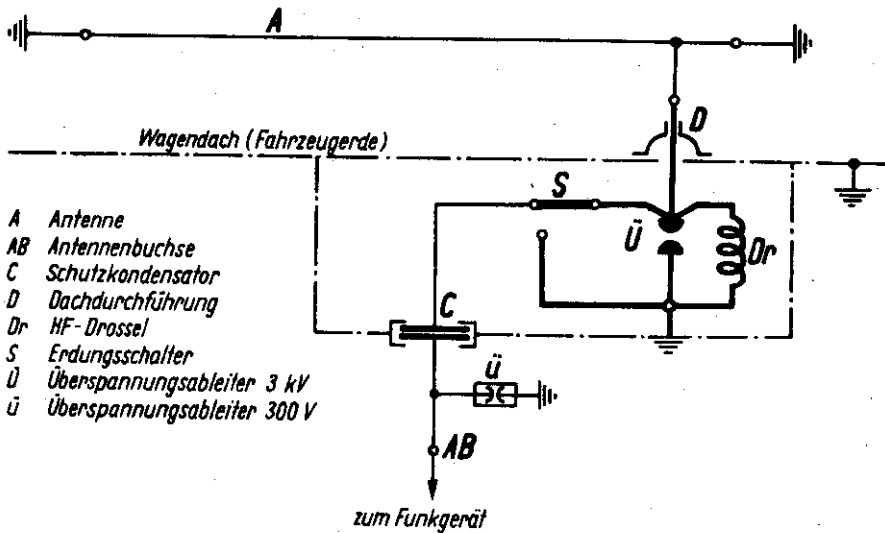


Abb.2 Dachantennen auf Eisenbahnfahrzeugen.
Schutzschaltung für Empfangsantenne.

Bei Rundfunkempfangsantennen muss die HF-Drossel gegebenenfalls bis zum Erreichen der 3 kV-Ansprechspannung der Funkenstrecke während der Zeitdauer von höchstens $1/5$ Halbwelle (6 msec) etwa 2 bis 3 % des Kurzschlußstromes aufnehmen können. Die Induktivität der z.Zt. verwendeten Drossel beträgt in eingebautem Zustand etwa 175 mH bei einer Eigenkapazität von rd. 40 pF. Für die übrigen Teile der Schutzschaltung gelten besondere Prüfbedingungen.

Da im Kurzschlussfall mit der Bildung von Lichtbogen zu rechnen ist, müssen alle Teile der Schutzschaltung innerhalb eines geschlossenen mit Fahrzeugeterde gut verbundenen Gehäuses liegen, aus dem nur die dem Funkgerät zugekehrte Seite des Schutzkondensators in das Wageninnere hineinragen darf (Wanneneinbau).

Messungen haben ergeben, dass bei der beschriebenen Schutzschaltung im Augenblick der Fahrdrabtberührung an der Antennenanschlussbuchse noch oszillierende Ueberspannungen bis zu 10 kV auftreten können, die aber in weniger als 10 Mikrosek abklingen, so dass sie nur eine Schockwirkung zur Folge haben dürften.

Hochspannungstechnisch erfüllt die Schutzschaltung ihre Aufgabe, wenn auch in Kauf genommen wird, dass bei einer Fahrdrabtberührung die Teile der Schutzschaltung selbst zerstört werden und die Antenne als solche unbrauchbar wird.

Die funktechnischen Forderungen stehen den Profil- und Sicherheitsbedingungen teilweise entgegen.

Während man bei Empfangsantennen meistens in der Lage ist, die Verluste im Antennenkreis, also auch in der Schutzschaltung, durch entsprechende Verstärkung im Empfänger wieder auszugleichen, sind die nur aus Sicherheitsgründen vorhandenen Teile der Schutzschaltung für den Sendetechniker höchst unerwünscht. Sie lassen sich nicht ganz so kapazitäts- und verlustarm ausführen und einbauen, wie es notwendig wäre. Der Reihenkondensator in der Zuleitung wirkt sich ungünstig auf die Stromverteilung aus. Das gilt besonders für den Mittel- und Langwellenbetrieb. Ausserdem besitzt er eine durch den Einbau bedingte schädliche Erdkapazität, die mit wenigstens 20 pF anzusetzen ist. Die gleiche Kapazität hat auch die Funkenstrecke gegen Erde. Sie lässt sich bei der vorhandenen Bauart kaum verkleinern, ohne nicht gleichzeitig die Schutzwirkung zu verringern. Die Ansprechspannung liegt für Hochfrequenz bei etwa 4000 V. Die Funkenstrecke muss daher bei Sendern mittlerer Leistung wegen der Spannungsverteilung mehr gegen den Spannungsknoten, also gegen den Sender zu, verlegt werden.

Am vorteilhaftesten wäre es, für den Sendebetrieb als Zuleitung ein auch den Starkstromforderungen genügendes Energiekabel zu verlegen, oder die Hochführung in einem geschlossenen Antennenschacht vorzunehmen. Diese Lösung ist aus konstruktiven Gründen nur bei Sendern mit abgedeckter Antennenzuführung mittlerer Leistung möglich und auch mit Erfolg ausgeführt worden. Aber auch in diesem Fall wird man auf den Kondensator als Strombegrenzer und auf die Funkenstrecke nicht verzichten dürfen, um zu vermeiden, dass bei einer Fahrdrabtberührung der gesamte Kurzschlußstrom über den Antennenteil des Senders fließt und diesen zerstört.

Die verschiedenen auf Eisenbahnfahrzeugen eingesetzten Antennen wurden auch messtechnisch untersucht, und zwar wurden Vergleichsmessungen der an der abgestimmten Antenne auftretenden Nutz- und Störspannungen angestellt. Als Messgerät diente der grosse Störspannungsmessplatz der Fa. Siemens u. Halske. Es wurde bei einer Bandbreite von 9 kHz gemessen. Im einzelnen wurden untersucht eine Dachantenne, eine Unterwagenantenne, eine Rahmenantenne, die auf einem Holzrahmen an der Wagenstirnseite angebracht war, ferner ein Rahmen um den Balg des Verbindungsganges zweier D-Zugwagen und ein kleiner Rahmen im Fensterdurchbruch.

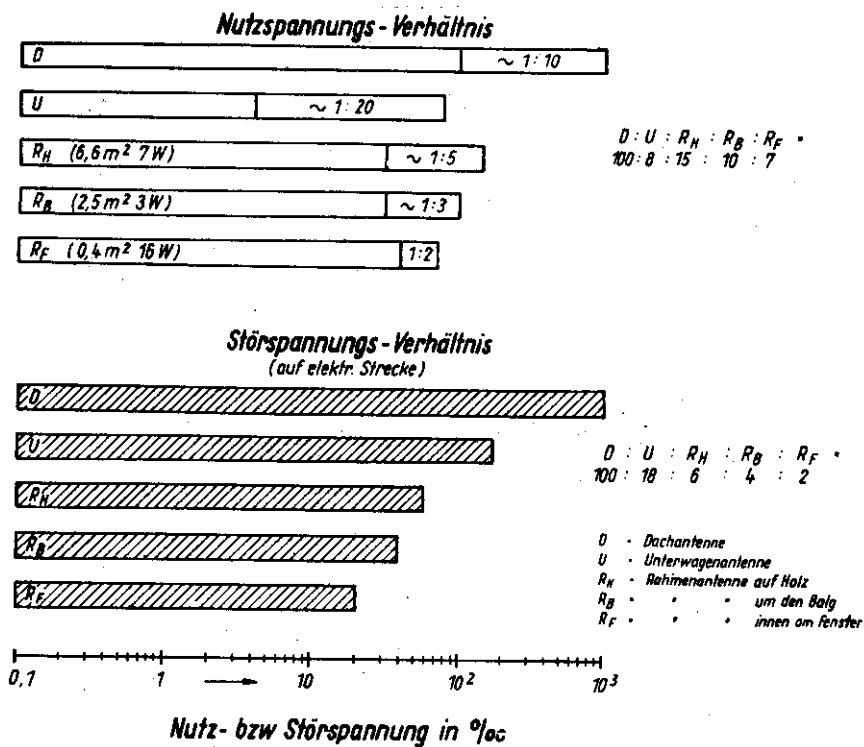


Abb. 3 Spannungsverhältnisse bei verschiedenen Antennen am Eisenbahnwagen.

Die Messergebnisse sind in Abb.3 für die verschiedenen Antennenarten in % dargestellt. Oben sind die Nutzs-
spannungs- unten die Störspannungsverhältnisse gezeigt.
Letztere treffen nur für elektrische Strecken zu. Die Span-
nungen an der Dachantenne sind dabei mit 1000 % angenommen.
Die Nutzs-
spannungen bei den 5 untersuchten Antennen verhalten
sich etwa wie 100 : 8 : 15 : 10 : 7, die Störspannungen da-
gegen wie 100 : 18 : 6 : 4 : 2. Die Rahmenantenne ist also
störspannungsmässig der Dachantenne überlegen. Die teilweise
starken Spannungsschwankungen rühren teils von stehenden
Wellen her, die sich auf den Fahrleitungen und auch auf den
Freileitungen neben dem Bahnkörper ausbilden, teils ist
Abschirmung durch Ueberbauten oder Geländeeinschnitte die
Ursache. Letzteres zeigt sich besonders deutlich bei der U-
Antenne. Auch die Richtwirkung des Rahmens tritt hier in Er-
scheinung. Ferner geht die schwankende Uebertragungsdämpfung
zwischen Fahrdrabt und Antenne in die Messung ein.

Während einerseits der Empfang im Fahrzeug bei
fehlender Oberleitung sichergestellt ist und andererseits
die Fahrleitung praktisch ohne Einfluss auf die Antennen-
abstrahlung bei Sendebetrieb ist, wird bei elektrischem
Betrieb infolge der hohen Störspannungen zwischen dem Fahr-
draht und Erde häufig jeder Empfang unmöglich, es sei denn,
dass unterm Fahrdrabt mit Dampflok gefahren wird. Der Haupt-
störer ist immer der Stromabnehmer des Triebfahrzeuges, dann
folgen die Fahr- und Hilfsmotoren und schliesslich die Hoch-
spannungsisolatoren. Bei den bisher üblichen Aluminium-
schleifstücken wurden Bügelstörungen von im Mittel 800 mV
zwischen Fahrdrabt und Erde gemessen, sie konnten durch Um-
stellung auf Kohleschleifstück auf 30 mV entsprechend 4 % des
früheren Wertes gesenkt werden. In derselben Grössenordnung
liegen die Rauschspannungen von Fahrmotoren und von feuchten,
verrußten Isolatoren. Die Spitzenwerte für einzelne Knack-
geräusche liegen bei Aluminiumbügel um 54 000 mV, bei Kohle-
bügel um 3 000 mV. Die durch Schaltmaßnahmen in den Trieb-
fahrzeugen verursachten vereinzelt Knackstörungen mit 50
bis 1000 mV treten dagegen zurück. Diese Werte gelten für den
Langwellenbereich; sie verringern sich bei Mittel- und Kurz-
wellen etwa im Verhältnis 1 : 2 : 20.

Wenn man zwischen Fahrdrabt und Dachantenne eine Uebertragungsdämpfung von etwa 3 N annimmt, sind bei 30 mV (Langwellen) bzw. 1,5 mV (Kurzwellen) am Fahrdrabt immerhin noch etwa 1,5 mV bzw. 75 μ V Störspannung an der Dachantenne vorhanden. Dieses Ergebnis weist bei elektrisierten Strecken auf den Rahmenempfang hin; dabei muss die ständige Bedienung des Rahmens in Kauf genommen werden.

Alle bisherigen Angaben gelten für amplitudenmodulierte Wellen. Bei Frequenzmodulation werden die Empfangsverhältnisse nach den bisherigen Untersuchungen etwa um den Faktor 5 günstiger. Inwieweit die Anwendung eines nach dem Kaban-Verfahren "entstörten Empfängers" eine Besserung bringt, muss erst noch durch Versuche festgestellt werden.

Zusammenfassung.

Bei Dachantennen auf Eisenbahnfahrzeugen müssen mit Rücksicht auf die elektrische Oberleitung Schutzmaßnahmen gegen Nennspannungen von 15 bzw. 20 kV und einen max. Kurzschlußstrom von 10 000 A getroffen werden. Bei Sendern von mittlerer Leistung an aufwärts wäre die beste Lösung, den Antennenteil und die Zuleitung zur Dachantenne so auszubilden, dass sie im Falle einer Berührung zwischen Fahrdrabt und Antenne auch den Starkstrombeanspruchungen standhalten. Bei Sendern kleinerer Leistung muss wegen der Zugänglichkeit der Antennenbuchsen eine Schutzschaltung beibehalten werden, die aber in mechanischer, hochspannungs- und hochfrequenztechnischer Hinsicht noch verbesserungsbedürftig ist. Für Empfangszwecke wäre anzustreben, den hochspannungsbeeinflussten Teil der Dachantenne durch einen hochspannungssicheren Uebertrager von der Zuleitung zum Empfänger galvanisch vollkommen zu trennen oder überhaupt eine andere Antennenart, z.B. den Rahmen, anzuwenden, der durch eine räumliche Anordnung gegen jede gefährliche Beeinflussung durch die Fahrdrabtspannung geschützt und auch gegenüber den Störspannungen des Fahrleitungsnetzes besser entkoppelt werden kann. Vielleicht bietet der Peilrahmen mit Eisenkern hier eine Möglichkeit weiterzukommen. Für geplante Untersuchungen und Messungen hat die Reichsbahn dem OKH einen besonderen Stahlwagen zur Verfügung gestellt. Wenn auch die Zahl der Funkstellen in Eisenbahnfahrzeugen relativ gering ist, so kommt ihnen doch erhöhte Bedeutung zu, da sich höchste Stellen der Regierung und der Wehrmacht ihrer bedienen.